

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

16.6.2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2003年 6月19日

出 願 番 号
Application Number: 特願2003-174491
[ST. 10/C]: [JP 2003-174491]

出 願 人
Applicant(s): 日本電信電話株式会社

REC'D 06 AUG 2004

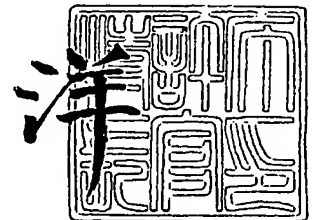
WIPO PCT

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 7月22日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願
【整理番号】 NTTH155385
【提出日】 平成15年 6月19日
【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿
【国際特許分類】 G02F 1/01

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内

【フリガナ】 フジワラ マサシ

【氏名】 藤原 正満

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内

【フリガナ】 カニ シュンイチ

【氏名】 可児 淳一

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内

【フリガナ】 イワツキ カミ

【氏名】 岩月 勝美

【特許出願人】

【識別番号】 000004226

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号

【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】

【識別番号】 100078237

【住所又は居所】 東京都練馬区関町北二丁目 2 6 番 1 8 号

【弁理士】

【氏名又は名称】 井 出 直 孝

【電話番号】 03-3928-5673

【選任した代理人】

【識別番号】 100083518

【住所又は居所】 東京都練馬区関町北二丁目 2 6 番 1 8 号

【弁理士】

【氏名又は名称】 下 平 俊 直

【電話番号】 03-3928-5673

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014421

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9701394

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光変調器および多波長一括光変調装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 双方向光増幅器と、変調部と、前記双方向光増幅器に、単一波長の連続光を入力する第一の入出力ポートとを備え、

前記双方向光増幅器は、この入力された連続光の光パワーを増幅する手段を備え、

前記変調部に、この光パワーを増幅された連続光を入力する第二の入出力ポートを備え、

前記変調部は、

この入力された連続光に対してマーク率がほぼ $1/2$ の送信信号で強度変調を施す手段と、

この強度変調を施した変調光を前記第二の入出力ポートに出力する手段とを備え、

前記第二の入出力ポートは、前記双方向光増幅器にこの変調光を入力し、

前記双方向光増幅器は、この入力された変調光の光パワーを増幅し、この光パワーを増幅された変調光を前記第一の入出力ポートに出力する手段を備え、

前記双方向光増幅器利得 G (dB) に対する前記変調部への入力連続光の光パワーと前記変調部からの出力変調光の光パワーとの差で定義される変調部損失 L (dB) の値を、

0 (dB) ないし $2G + 3.0$ (dB)

となるように設定することを特徴とする光変調器。

【請求項 2】 前記変調部損失 L (dB) の値を、

ほぼ $G + 1.5$ (dB)

となるように設定する請求項 1 記載の光変調器。

【請求項 3】 前記双方向光増幅器が利得の未飽和領域において動作される請求項 1 または 2 記載の光変調器。

【請求項 4】 前記変調部は、前記第二の入出力ポートに出力する手段として光反射器を備えた反射型の光強度変調器である請求項 1 ないし 3 のいずれかに記

載の光変調器。

【請求項5】 前記変調部は、光サーキュレータと、この光サーキュレータを介して形成されるループ内に設けられた透過型の光強度変調器とを備えた請求項1ないし3のいずれかに記載の光変調器。

【請求項6】 請求項1ないし5のいずれかに記載の光変調器が多重波長数分設けられ、

波長多重された連続光を分波して単一波長毎に前記光変調器にそれぞれ入力すると共に、前記光変調器から出力された変調光を多重して出力する手段を備えたことを特徴とする多波長一括光変調装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光通信に利用する。特に、光変調器の装置構成技術に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来より、光短パルスレーザ、あるいは振幅または位相を変調した多波長光を波長多重通信（WDM：Wavelength Division Multiplexing）用光源として用いる方式が検討されてきた。このような多波長光は、各サイドモードのスペクトル間隔がすべて等しく、サイドモードを波長分離して得られるチャンネルはすべて等しい波長間隔になる。従って、各チャンネルごとに個別のレーザを用意してチャンネルごとに波長を設定する方法よりも、波長配置に関して簡便である。

【0003】

このような多波長光を波長多重通信システムの光源として用いるには、従来は各サイドモードをアレイ導波路格子フィルタ（AWG：Arrayed-Waveguide Grating）などの波長合分波器で波長分離し、それぞれの波長を個別の強度変調器を用いて変調し、変調されたそれぞれのチャンネルを別の波長合分波器を用いて波長多重していた。

【0004】

つまり、多波長光を強度変調するには、多波長光を波長合分波器で波長分離し

、各波長の光を強度変調したのち、別の波長合分波器を用いて波長多重する必要があったため、絶対波長の等しい2つの波長合分波器が必要であった。図4に従来の多波長一括光変調装置の一例を示す。

【0005】

その問題を解決する手法として、特許文献1において、1つの波長合分波器と、1つあるいは複数の光強度変調器と、光強度変調器の個数に等しい反射鏡とで構成した多波長一括光変調装置が提案されている。この多波長一括光変調装置を図5に示す。

【0006】

この図4および図5に示した2例においては、波長合分波器および光強度変調器を通過する際の損失を補うため、高利得の光増幅器が必要である。これらの2例では、多波長光の波長域をカバーする広帯域の光増幅器を挿入している。このような広帯域にわたって平坦な利得プロファイルを持つ高出力の光増幅器はたとえば一つと言えども高価である。また、光増幅器の故障がシステムに与える影響は甚大である。

【0007】

図6に双方向光増幅器を適用した多波長一括光変調装置を示すが、願はくば、図6に示すように、安価な双方向増幅器を、分波されたチャンネルごとに挿入する構成が望ましい。この構成によれば、光増幅器に要求される利得を所定利得の半分にすることができ、また広帯域にわたって平坦な利得プロファイルを必要としない。さらに、光増幅器故障時にシステムに与える影響を波長毎に抑えることができる。

【0008】

双方向光増幅器として、例えば半導体光増幅器（SOA：Semiconductor Optical Amplifier）を挙げることができる。図7はSOAを説明するための図である。SOAは、半導体レーザの共振器端面を低反射化することにより、半導体内の活性層を進行する光を、誘導放出により増幅させる光増幅器である。一方、双方向光増幅器としてエルビウム添加光ファイバ（EDFA：Erbium Doped Fiber Amplifier）などの光ファイバ増幅器を考えることもできるが、光ファイバ増幅

器は、ポンプ光を出力する半導体レーザ、エルビウムなどを添加した添加物光ファイバ、ポンプ光を添加物光ファイバに結合する結合器から構成されるため、部品点数の観点からSOAより高コストになることが予想される。

【0009】

光増幅器を双方向光増幅器として動作させるには、光増幅器の内部に光アイソレータを挿入することができないため、光増幅経路の両端からの端面反射の影響を考慮する必要がある。この反射光は、双方向伝送時には2つ存在し（図7、反射光#1、反射光#2）、反射光#1は変調光と、反射光#2は連続光と同一方向に進む。この連続光は強度変調され変調光となり、反射光#2は連続光と同じ経路を辿るため、結局、変調光には反射光#1および反射光#2が付与される。変調光は反射光#1および反射光#2の同一偏波方向成分と干渉し、ビート雑音として強度揺らぎが生じる。

【0010】

次に、SOAを例に反射光について説明する。図7に示すように、SOAは入力信号光パワーを g 倍する増幅部の両端に低反射化された端面を持つ。この端面は、デシベル換算で -40 dB 程度と値は小さいものの反射率 r を持つ。反射光はSOAの利得を2度受けることから、SOA全体で考えると反射率は $g^2 r$ に増大され、その影響は無視できなくなる。

【0011】

このような反射光の影響を低減させるためには、特許文献1において提案された手法を応用すればよい。図8および図9は、それぞれ、その構成と効果を説明する図である。ここで、図9における丸の中の矢印は、信号光の偏波面の角度を模式的に表している。特に、括弧内に示される偏波面の角度は、双方向光増幅器における反射光の偏波面の角度を表す。

【0012】

偏波分離器の一つの出力ポートは、空間光学系あるいは光導波路によって光強度変調器の片方のポートに光学的に接続されている。光強度変調器のもう一方のポートは、同じく空間光学系あるいは光導波路によって光反射器に光学的に接続されており、光強度変調器と光反射器の光路上に偏波回転手段が配置されている

【0013】

図8では、入力光および出力光を偏波分離器で切りわけているが、入力光と出力光の偏波面の角度は90度ずれているので、出力光の特定の偏波だけを切り出せば、入力光と出力光は分離できる。偏波分離器としては、一般によく使用される偏波ビームスプリッタ（PBS：Polarization Beam Splitter）を用いればよいが、例えば、出力光を光サーキュレータ、あるいは光カップラを介して波長合分波器より出力させ、偏光子を用いて入力光と90度偏波のずれた光のみを取り出す構成としてもよい。

【0014】

また、偏波回転手段としては、1/4波長板、あるいはファラデー素子などがある。また、ファラデー素子の一方の出力端に反射鏡を取り付けたファラデーミラーを用いてもよい。

【0015】

偏波分離器を介して光強度変調器に導かれた連続光は、データ信号により強度変調される。変調光は光強度変調器の光反射器側ポートより出力され、偏波回転手段に入力される。そこで変調光は偏波面が45度回転され、光反射器へ出力される。光反射器で反射された変調光は再び偏波回転手段に入力されることにより、偏波面がさらに45度回転され、光強度変調器に再度入力される。出力光は、その偏波面が入力光と比べて90度ずれているため、偏波分離器により入力光と出力光を分離することができる。

【0016】

ここで、双方向光増幅器の反射光#1および反射光#2は、同一方向に進む連続光もしくは変調光の偏波方向と直交する。反射光#1は変調光と偏波方向が直交するため、出力において偏波分離器にて分離される。また、反射光#2は連続光と偏波方向が直交し、以後連続光が強度変調されて変調光となってからもその偏波関係は保持され、反射光#1と同様に出力において偏波分離器にて分離される。その結果、双方の光の干渉による強度揺らぎを解消することができる。

【0017】

【特許文献1】

特開 2002-318374 号公報

【非特許文献1】

IEEE J. Lightwave Technol., vol. 14, no. 6, pp. 1097-1105, 1996

【非特許文献2】

IEEE Photon. Technol. Lett. Vol. 5, no. 3, pp. 304-306

【0018】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記構成では多波長光源から図8の出力に至るまでの全光経路における偏波状態を一定に保つ必要がある。つまり、光経路に挿入される光デバイスおよび光デバイスを結合する光ファイバを、すべて偏波保持型のものに置き換える必要がある。

【0019】

偏波保持型の光デバイスおよび光ファイバは、非偏波保持型のものに比べてコスト高である。また、光デバイスや光ファイバを複数結合すると、直交する2つの偏波間の偏波消光比は著しく劣化する。一方向の光伝送経路であれば、光経路内に偏光子を適宜挿入することにより、劣化した偏波消光比を回復させることもできるが、上記構成の多波一括光変調装置においては、互いに偏波の直交する光が双方向に通過するため、単一偏波方向のみの光を通過させる偏光子を挿入することができない。図8の構成により、連続光および変調光と反射光の干渉による強度揺らぎを解消するには、偏波状態を一定に保つための高度な技術を要する。

【0020】

本発明は、図6に示す多波長一括光変調装置に配置されるチャンネルごとの光変調器（図中点線で示す）において、偏波保持型の光デバイスおよび光ファイバを使用することなく、双方向光増幅器利得の値を最適化することにより、光変調器からの出力パワーを減衰させずに、変調光に対する双方向光増幅器からの反射光の比率を低く抑えることができる光変調器を提供することを目的とする。

【0021】

【課題を解決するための手段】

本発明の第一の観点は光変調器であって、本発明の特徴とするところは、双方向光増幅器と、変調部と、前記双方向光増幅器に、単一波長の連続光を入力する第一の入出力ポートとを備え、前記双方向光増幅器は、この入力された連続光の光パワーを増幅する手段を備え、前記変調部に、この光パワーを増幅された連続光を入力する第二の入出力ポートを備え、前記変調部は、この入力された連続光に対してマーク率がほぼ $1/2$ の送信信号で強度変調を施す手段と、この強度変調を施した変調光を前記第二の入出力ポートに出力する手段とを備え、前記第二の入出力ポートは、前記双方向光増幅器にこの変調光を入力し、前記双方向光増幅器は、この入力された変調光の光パワーを増幅し、この光パワーを増幅された変調光を前記第一の入出力ポートに出力する手段を備え、前記双方向光増幅器利得 G (dB) に対する前記変調部への入力連続光の光パワーと前記変調部からの出力変調光の光パワーとの差で定義される変調部損失 L (dB) の値を、 0 (dB) ないし $2G + 3.0$ (dB) となるように設定するところにある (請求項 1)。

【0022】

これにより、図 6 に示す多波長一括光変調装置に配置されるチャネルごとの光変調器 (図中点線で示す) において、偏波保持型の光デバイスおよび光ファイバを使用することなく、光変調器からの出力パワーを減衰させずに、変調光に対する双方向光増幅器からの反射光の比率を低く抑えることができる。

【0023】

あるいは、前記変調部損失 L (dB) の値を、ほぼ $G + 1.5$ (dB) となるように設定することもできる (請求項 2)。

【0024】

これにより、 G 一定の条件における変調光に対する反射光の比率を最小にすることができる。

【0025】

また、前記双方向光増幅器が利得の未飽和領域において動作されることが望ま

しい（請求項3）。

【0026】

前記変調部は、前記第二の入出力ポートに出力する手段として光反射器を備えた反射型の光強度変調器であることができる（請求項4）。あるいは、前記変調部は、光サーキュレータと、この光サーキュレータを介して形成されるループ内に設けられた透過型の光強度変調器とを備えることができる（請求項5）。

【0027】

本発明の第二の観点は、本発明の光変調器が多重波長数分設けられ、波長多重された連続光を分波して単一波長毎に前記光変調器にそれぞれ入力すると共に、前記光変調器から出力された変調光を多重して出力する手段を備えたことを特徴とする多波長一括光変調装置である（請求項6）。

【0028】

【発明の実施の形態】

本発明実施形態の光変調器および多波長一括光変調装置を図1および図2を参照して説明する。図1は本実施形態の光変調器および多波長一括光変調装置の構成図である。図2は半導体増幅器の未飽和領域を説明するための図である。

【0029】

本実施形態の光変調器は、図1に示すように、双方向光増幅器1と、変調部2と、双方向光増幅器1に、単一波長の連続光を入力する第一の入出力ポート3とを備え、双方向光増幅器1は、この入力された連続光の光パワーを増幅する手段を備え、変調部2に、この光パワーを増幅された連続光を入力する第二の入出力ポート4を備え、変調部2は、この入力された連続光に対してマーク率がほぼ1/2の送信信号で強度変調を施す手段と、この強度変調を施した変調光を第二の入出力ポート4に出力する手段とを備え、第二の入出力ポート4は、双方向光増幅器1にこの変調光を入力し、双方向光増幅器1は、この入力された変調光の光パワーを増幅し、この光パワーを増幅された変調光を第一の入出力ポート3に出力する手段を備え、双方向光増幅器1の利得G（dB）に対する変調部2への入力連続光の光パワーと変調部2からの出力変調光の光パワーとの差で定義される変調部2の損失L（dB）の値を、0（dB）ないし $2G + 3.0$ （dB）

となるように設定するところにある（請求項1）。

【0030】

また、変調部2の損失 L （dB）の値を、ほぼ $G+1.5$ （dB）となるように設定することができる（請求項2）。また、双方向光増幅器1は、図2に示すように、利得の未飽和領域において動作される（請求項3）。

【0031】

変調部2は、入出力ポート4に出力する手段として光反射器5を備えた反射型の光強度変調器6である（請求項4）。あるいは、変調部2は、光サーキュレータ7と、この光サーキュレータ7を介して形成されるループ内に設けられた透過型の光強度変調器8とを備える（請求項5）。

【0032】

また、他の本実施形態は、図1に示すように、本実施形態の光変調器9が多重波長数分設けられ、波長多重された連続光を分波して単一波長毎に光変調器9にそれぞれ入力すると共に、光変調器9から出力された変調光を多重して出力する波長合分波器10を備えたことを特徴とする多波長一括光変調装置である（請求項6）。

【0033】

以下では、本実施形態の光変調器および多波長一括光変調装置を詳細に説明する。

【0034】

（本発明の光変調器の構成）

本発明による光変調器の構成を図1に示す。ここで言う光変調器とは、図6に示した多波長一括光変調装置において分波された各チャネルをデータ信号で強度変調する部分のことであり、図1において点線で表される。図1には2つの光変調器の構成を示す。一つは、分波された連続光の光パワーを双方向光増幅器において増幅し、光強度変調器に入力してデータ信号により強度変調して変調光とした後、光反射器により反射させ、光強度変調器、双方向光増幅器を再度通過させる構成（請求項4）、もう一つは、分波された連続光の光パワーを双方向光増幅器において増幅し、光サーキュレータを介してつくられる光ループに入力して、

光ループ内に配置される光強度変調器においてデータ信号により強度変調した後、光サーキュレータを経て、双方向光増幅器を再度通過する構成である（請求項5）。

【0035】

前者においては、光反射器を光強度変調器とは別にしてもよいし、光強度変調器の端面に貼り付けて一体化した構成としてもよい。双方向光増幅器においては、利得の飽和領域において連続光と変調光の間の利得の奪い合いが信号劣化を引き起こす。つまり、光増幅器内部において連続光が変調光の信号パターンにより変調されることになる。図2に示すように、連続光と変調光の双方向光増幅器からの出力パワーの和（もしくは入力パワーの和）が、ある出力パワー（もしくは入力パワー）以下において利得が一定に保たれる利得の未飽和領域で使用されることが望ましい（請求項3）。

【0036】

（本発明の光変調器における反射光の影響を定量化する手法）

図1に示す光変調器構成においては、図1に示すように双方向光増幅器の両端からの反射光#1と反射光#2が存在する。これらの反射光が変調光に与える影響を定量的に示す手法について示す。ここでは、以下を想定することができる。

- ・双方向光増幅器の一方の端面で反射された光が再度もう一方の端面で反射される多重反射光は十分小さいとして無視する。
- ・送信信号のマーク率は $1/2$ である。（データ信号列にマークまたはスペースが連続すると、信号を受信する際にクロック信号を抽出することが困難になるため、通常、SDHにおけるスクランブル、ギガビットイーサにおける $8B \rightarrow 10B$ 変換など、マーク率をほぼ $1/2$ にする手法が講じられる。）

双方向光増幅器への入力連続光パワー、双方向光増幅器利得、変調部への入力連続光パワーに対する変調光出力パワー差、双方向光増幅器全体の反射率を、それぞれ、 1 、 g 、 x 、 r' とすると、光変調器出力の変調光パワー、反射光#1パワー、反射光#2パワーは、それぞれ、 $g^2 x$ 、 r' 、 $g^2 x^2 r'$ で表される。今、問題となるのは、変調光と反射光の干渉であるので、変調光マーク時の反射光の影響のみ考えればよい。送信信号のマーク率は $1/2$ であるので、光変調

器出力の変調光のマークレベルパワー、および、反射光# 2 のマークレベルパワーは、それぞれ、 $2 g^2 x$ 、 $4 g^2 x^2 r'$ である。ただし、光変調器出力において変調光および反射光# 2 が同時にマークとなる確率は $1/2$ であるので、反射光# 2 の影響は半減される。したがって、変調光マーク時の全反射光とのパワー比は、

$$S/N = (2 g^2 x) / (r' + 2 g^2 x^2 r') \quad (1)$$

と記述できる。さらに、 r' は光ファイバ結合損を無視すると、 $r' = g^2 r$ なる関係が成り立つので、

$$S/N = (2 g^2 x) / (g^2 r + 2 g^4 x^2 r) \quad (2)$$

と書き換えることができる。式 (2) の x を関数としてみなすと、

$$x = 1/\sqrt{2 g} \quad (3)$$

のとき、式 (2) は最大値をとる。すなわち、反射光の影響を最も小さくすることができる。これを対数スケールに書き直し、伝送路損失 L (dB)、双方向増幅器利得 G (dB) を用いると、

$$\begin{aligned} L &= -10 \log_{10} (x) \\ &= 10 \log_{10} (g) + 1/2 \cdot 10 \log_{10} (2) = G + 1.5 \end{aligned} \quad (4)$$

となる。またこのとき、反射光# 1 と反射光# 2 のパワーは等しくなる。

【0037】

実際には、反射光は変調光と干渉するので、上記はあくまでも定性的な議論において有効である。変調光に対する反射光の影響の定量的な見積もりは以下のように行うことができる。光変調器出力を、光サーキュレータなどを介して受信することを考える。変調光のマーク側光電界を $E_0 \exp [i (\omega_c t + \phi_0)]$ 、反射光# 1 のマーク側光電界を $E_1 \exp [i (\omega_c t + \phi_1)]$ 、反射光# 2 のマーク側光電界を $E_2 \exp [i (\omega_c t + \phi_2)]$ とすると、受信前の光電界は、

$$\begin{aligned} E_{OUT}(t) &= \\ E_0 \exp [i (\omega_c t + \phi_0)] &+ E_1 \exp [i (\omega_c t + \phi_1)] \\ &+ E_2 \exp [i (\omega_c t + \phi_2)] \end{aligned} \quad (5)$$

で表される。受信光電流は、要する係数を一切無視すると、

$$i_p =$$

$$E_0^2 + 2 E_0 E_1 \exp [i (\phi_0 - \phi_1)] + 2 E_0 E_2 \exp [i (\phi_0 - \phi_2)] \\ + E_1^2 + E_2^2 + 2 E_1 E_2 \exp [i (\phi_1 - \phi_2)] \quad (6)$$

となる。ここでは、第一項が変調項そのものであり、第二項以下は雑音である。第一項ないし第六項は、それぞれ、変調項および反射光がすべてマーク側にあるときの、変調光パワー、変調光と反射光#1のビート（干渉）、変調光と反射光#2のビート（干渉）、反射光#1パワー、反射光#2パワー、反射光#1と反射光#2のビート（干渉）を表す。第四項ないし第六項は、反射光は変調光に対して小さいことから無視である。ここでは、第二項および第三項の影響を考慮して、規格化ビートノイズパワーとして以下を定義する。

【0038】

$$\sigma_{\text{RIN}}^2 = 2 (E_0^2 E_1^2 + E_0^2 E_2^2) / (E_0^2)^2 \quad (7)$$

複数の反射点に関与する場合のビートノイズは、分散値として式（7）で表される値を示すガウス分布として取り扱うことができる。逆に反射点の数が少ない場合には、ビートノイズを過剰に見積もることになる。ここまでの議論は、反射光として双方向光増幅器の両端面からの反射光#1および反射光#2を考慮したが、実際には、双方向光増幅器の端面反射以外に、系に挿入される光デバイスの入出力端反射や、光コネクタによる反射なども存在し、これらの反射点からの反射光も双方向光増幅器の利得を受けることにより、それらの反射率如何によってはその影響が無視できなくなる。このような場合には、ここまでの議論で用いた端面反射率 r を、端面反射以外の反射点からの反射率の合計として捉えれば、（式）7で与えられる分散値を用いた反射光の影響の見積もりは妥当であると言える。一方、双方向光増幅器の両端面からの反射のみが支配的な場合には、上記見積もりを最悪設計と見なせばよい。

【0039】

以上の議論は、アレイ導波路回折格子（AWG: Arrayed-Waveguide Grating）のコヒーレントクロストークの影響を定量的に見積もる手法を示した非特許文献1との類推による。ただし、本光変調器においては、変調光マーク時において反射光#2が同じマークである確率は $1/2$ であるため、式（7）は、

$$\sigma_{\text{RIN}}^2 = (2E_0^2 E_1^2 + E_0^2 E_2^2) / (E_0^2)^2 \quad (8)$$

に書き換えられる。この式の値は、式(2)の逆数の2倍に等しい。

【0040】

(本発明の光変調器における反射光の影響についての計算例)

図3は、式(8)を用いた計算結果を示す。図3において、横軸は変調部損失および光変調器利得、縦軸はQ値を示す。光変調器利得は、変調部における3dBの変調損失を考慮しない $2G - (L - 3.0)$ (dB)および、3dBの変調損失を考慮する $2G - L$ (dB)の両方について図示している。Q値とは、非特許文献2において提案されている、変調光の信号対雑音比(SNR: Signal to Noise Ratio)を規定する評価パラメータである。計算では、光変調器への入力連続光パワー-6dBm、双方向光増幅器利得 $G = 10$ (dB)、双方向光増幅器雑音指数7dB、双方向光増幅器全体の反射率を-22dBとし、光プリアンプ受信を行わず直接光電変換して変調光を受信した。図3に示すように、変調部損失 $L = 11.5$ (dB)、つまり、 $L = G + 1.5$ (dB)においてQ値は最大値をとり、Q値を表す曲線はその値を中心に左右対称となる。図中①~④は、それぞれ、

$$0 \leq L \leq 2G + 3.0$$

光変調器利得 $2G - (L - 3.0) \geq 0$

かつ、光変調器利得 $2G - (L - 3.0) = 0$ (dB)のQ値が保障される光変調部損失領域

$$3.0 \leq L \leq 2G$$

光変調器利得 $2G - L \geq 0$ かつ、光変調器利得 $2G - L = 0$ (dB)のQ値が保障される光変調部損失領域

$$G - 4.5 \leq L \leq G + 7.5$$

Q値が最大値に対して3dB以内となる領域

$$L = G + 1.5$$

最大Q値をとる変調部損失

である。④の領域については、上記のとおりである。また、①および②の領域におけるLの上限値は、光変調利得が0 (dB)以上であることを示す。また、L

の下限値は、Q 値曲線が上記のように左右対称であることから必然的に決定される。また、Q 値が最大値に対して 3 dB 以内となるのは、

$$5.5 \text{ (dB)} \leq L \leq 17.5 \text{ (dB)}$$

つまり、

$$(G + 1.5) - 6 \text{ (dB)} \leq L \leq (G + 1.5) + 6 \text{ (dB)}$$

のときである。この L の範囲は G の値によらない。実際、式 (3) に示される x の値を、式 (1) に代入して得られる値の半分 (3 dB 減) が、式 (1) に等しいとしたときの x の 2 次方程式を解くと、その解は、

$$x = (2\sqrt{2} \pm \sqrt{6}) / 2g \quad (9)$$

である。さらに、これを対数スケールに書き直すと、

$$\begin{aligned} L &= -10 \log_{10} (x) = \\ &= 10 \log_{10} (2 / (2\sqrt{2} \pm \sqrt{6})) + 10 \log_{10} (g) \\ &\doteq (G + 1.5) \pm 6 \end{aligned} \quad (10)$$

となり、これが③の領域の上限値および下限値を表す。

【0041】

変調部損失 L を①の間の任意の範囲 (例えば、②、③、④) において、光変調器が利得を保持したまま、変調光に対する反射光の比率を低く抑えることができる。このとき、図 3 から明らかなように、変調部損失 L を④の $L = G + 1.5$ に近づける程、前記比率を低くできる (請求項 1、2)。

【0042】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、多波長一括光変調装置に配置されるチャネルごとの光変調器において、偏波保持型の光デバイスおよび光ファイバを使用することなく、双方向光増幅器利得の値を最適化することにより、光変調器からの出力パワーを減衰させずに、変調光に対する双方向光増幅器からの反射光の比率を低く抑えることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本実施形態の光変調器および多波長一括光変調装置の構成図。

【図 2】

半導体増幅器の未飽和領域を説明するための図。

【図 3】

本実施形態の Q 値の計算例を示す図。

【図 4】

従来の多波長一括光変調装置の構成図。

【図 5】

従来の多波長一括光変調装置の構成図。

【図 6】

従来の双方向光増幅器を適用した多波長一括光変調装置の構成図。

【図 7】

半導体増幅器の反射光を説明するための図。

【図 8】

従来の双方向光増幅器を適用した多波長一括光変調装置の構成図。

【図 9】

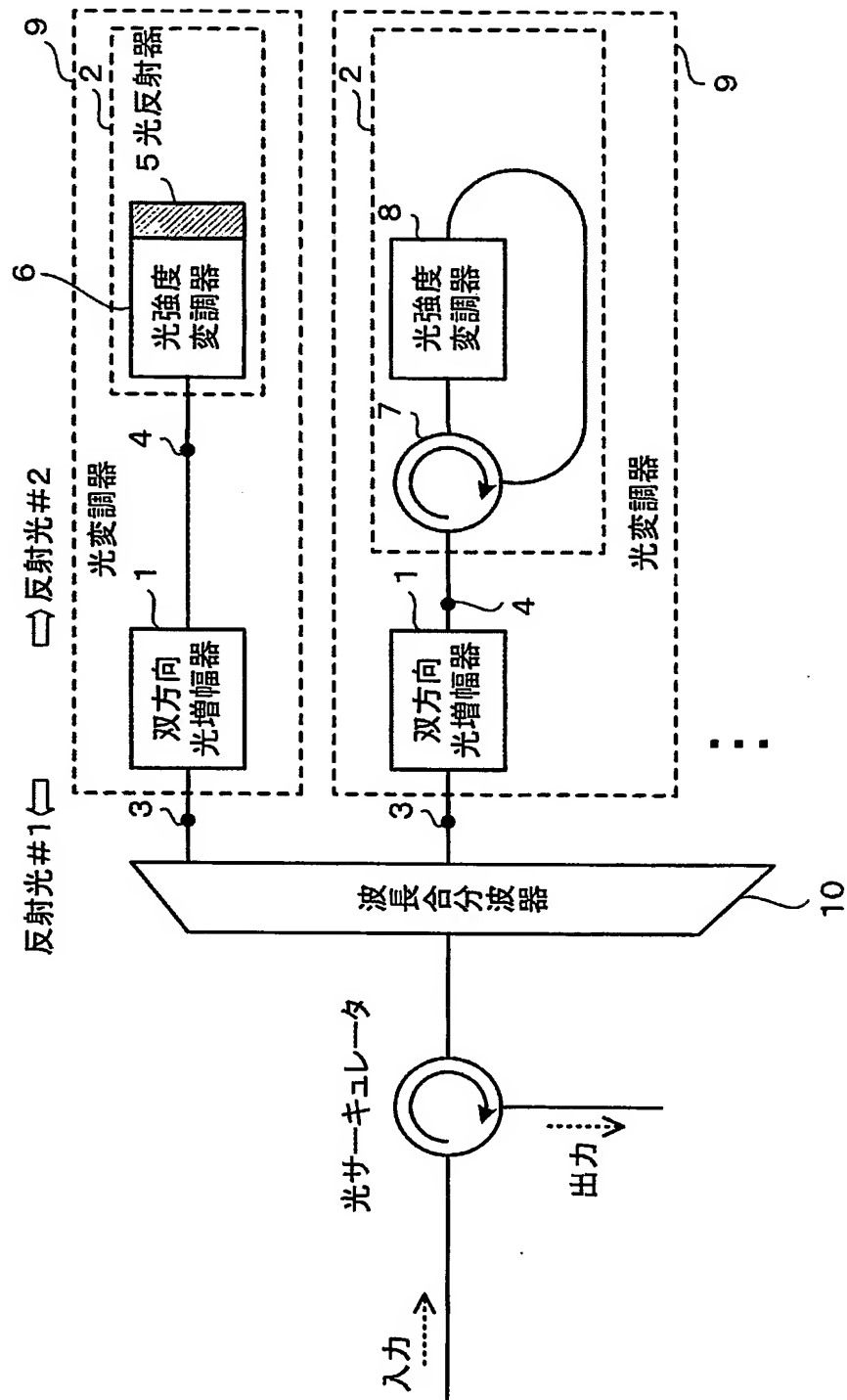
従来の双方向光増幅器を適用した多波長一括変調装置における偏波回転手段の効果を説明するための図。

【符号の説明】

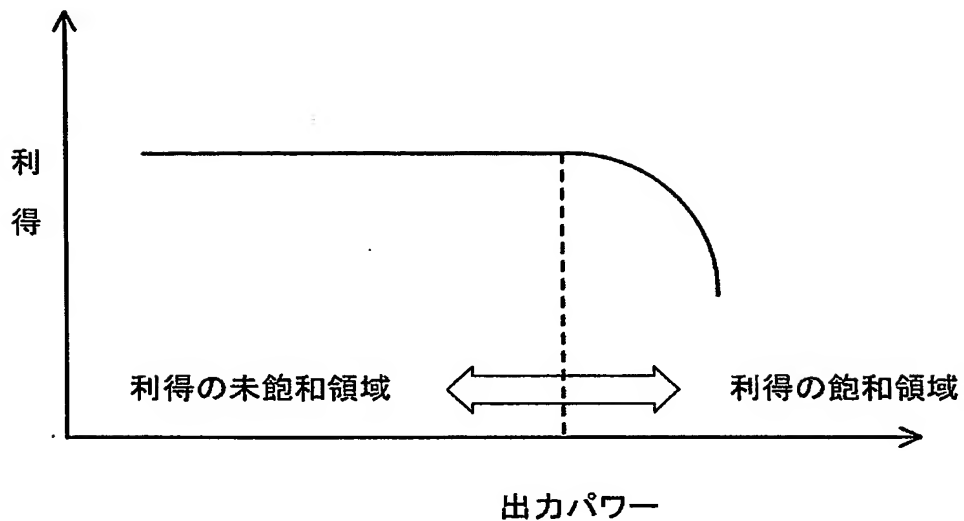
- 1 双方向光増幅器
- 2 変調部
- 3 第一の入出力ポート
- 4 第二の入出力ポート
- 5 光反射器
- 6、8 光強度変調器
- 7 光サーキュレータ
- 9 光変調器
- 10 波長合分波器

【書類名】 図面

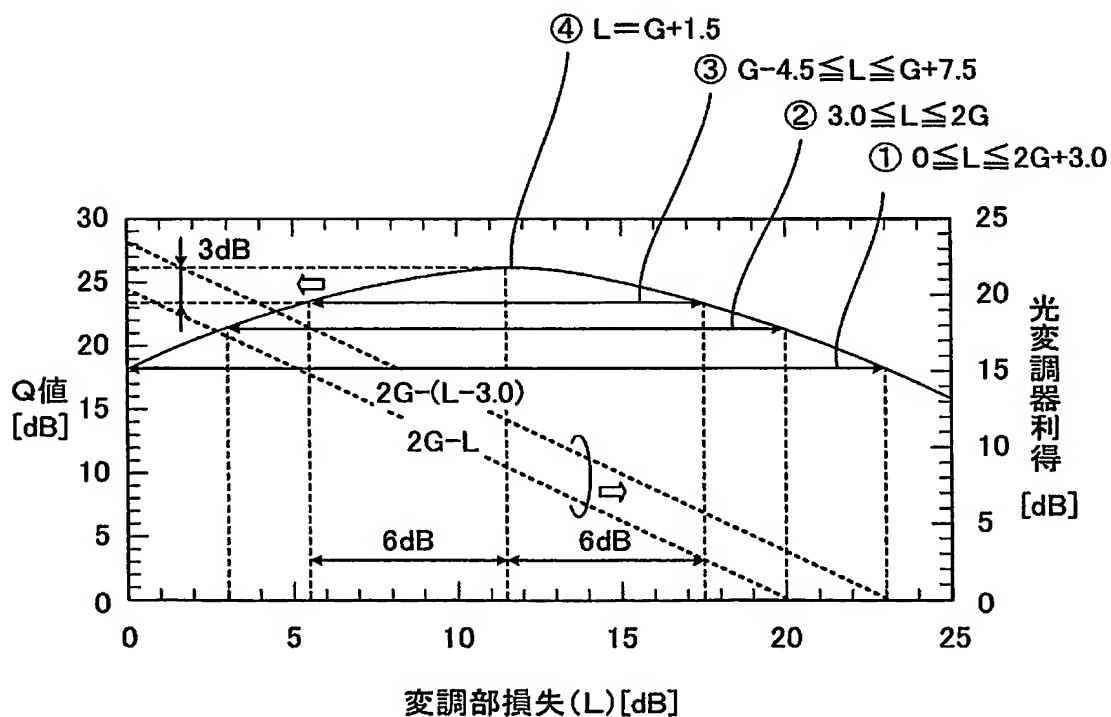
【図1】



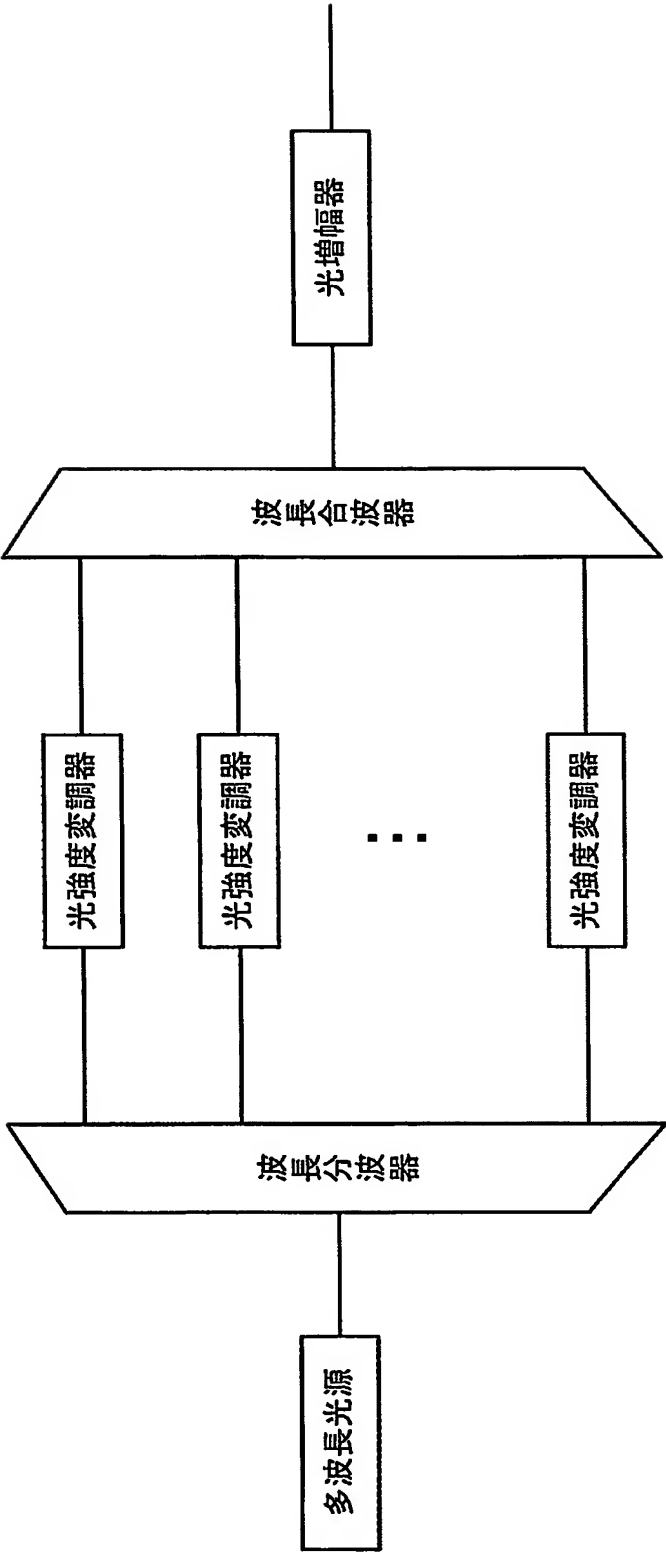
【図 2】



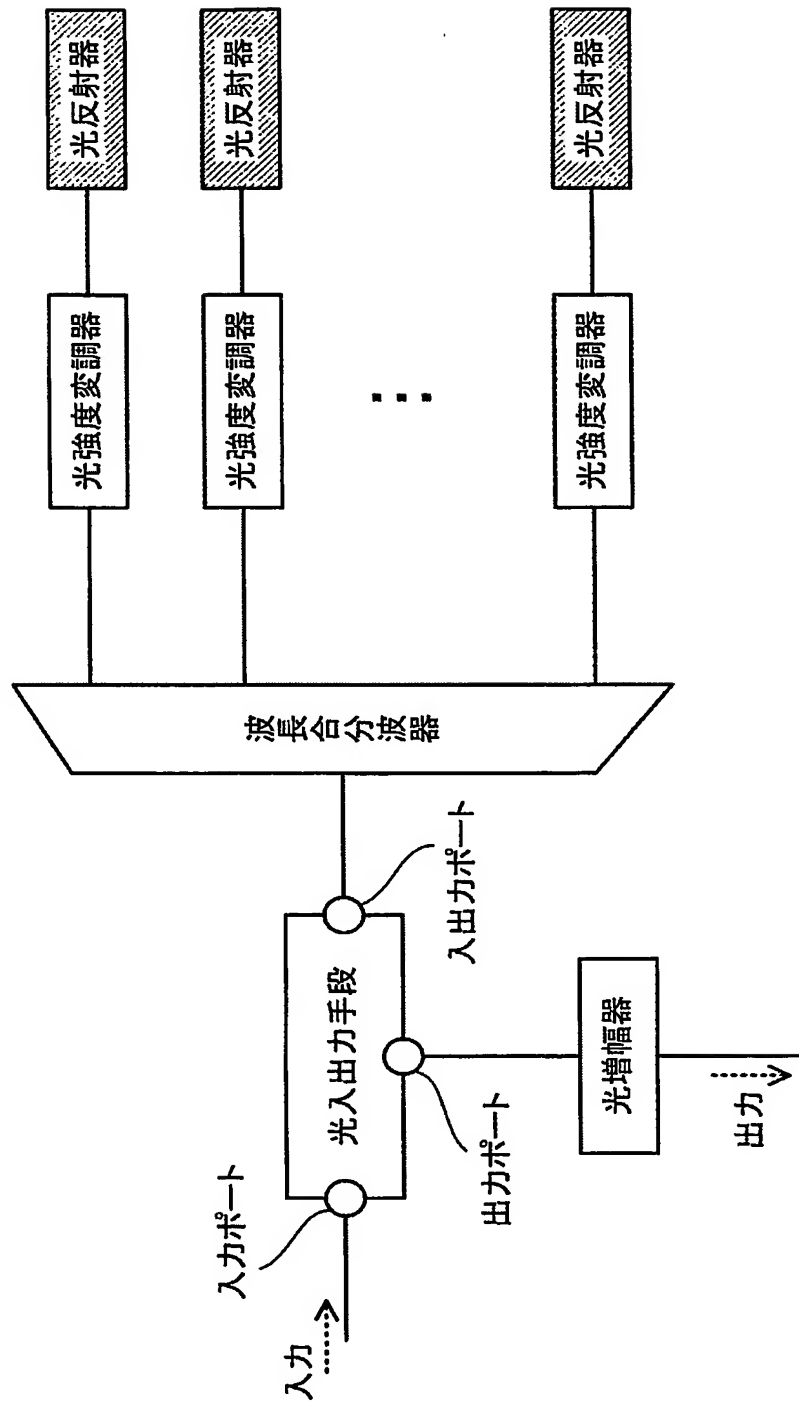
【図 3】



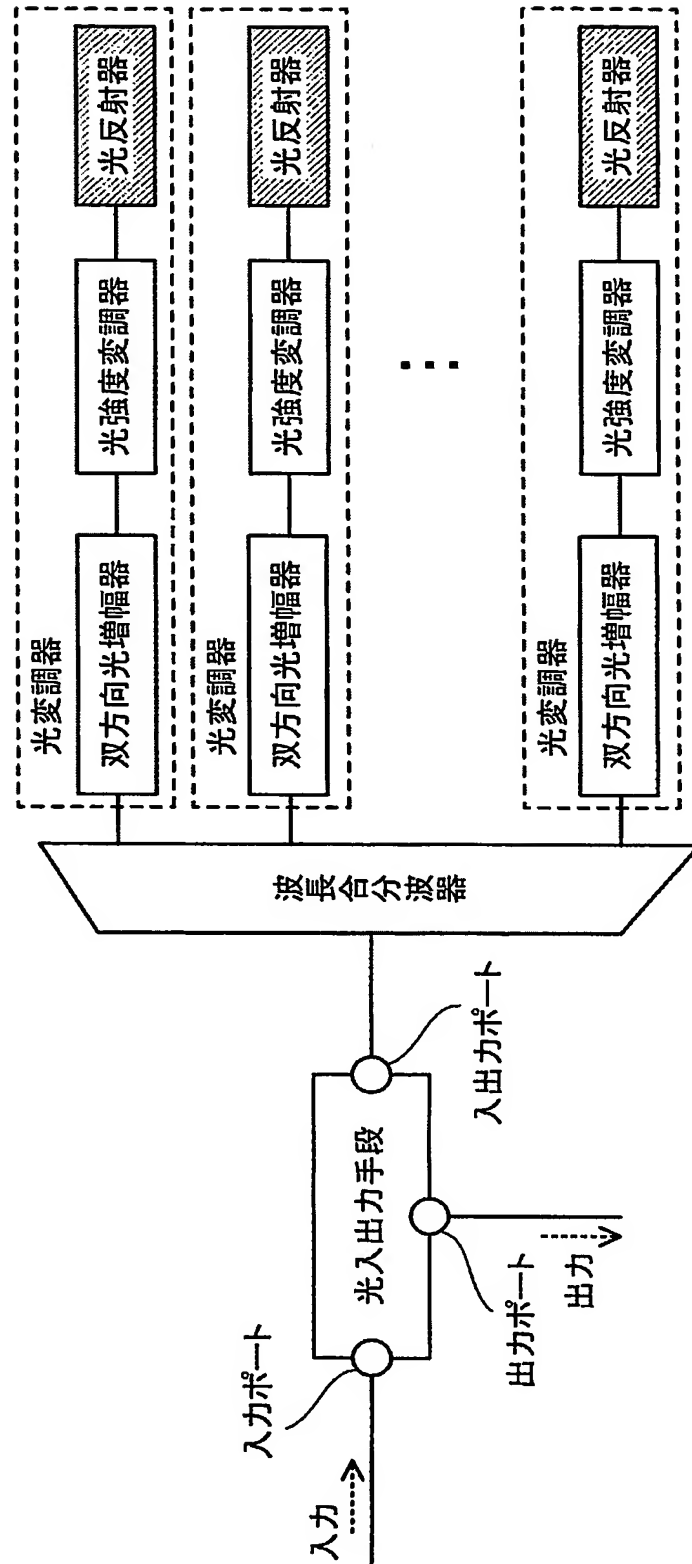
【図 4】



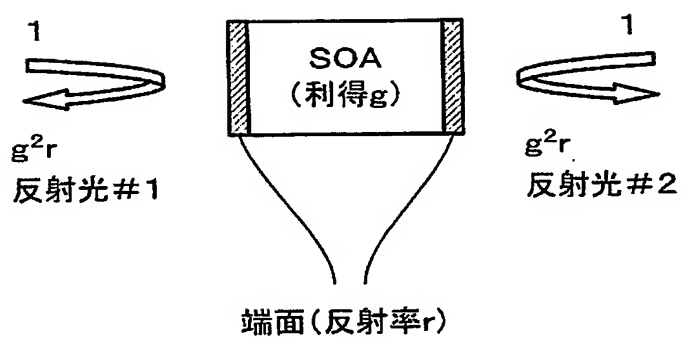
【図 5】



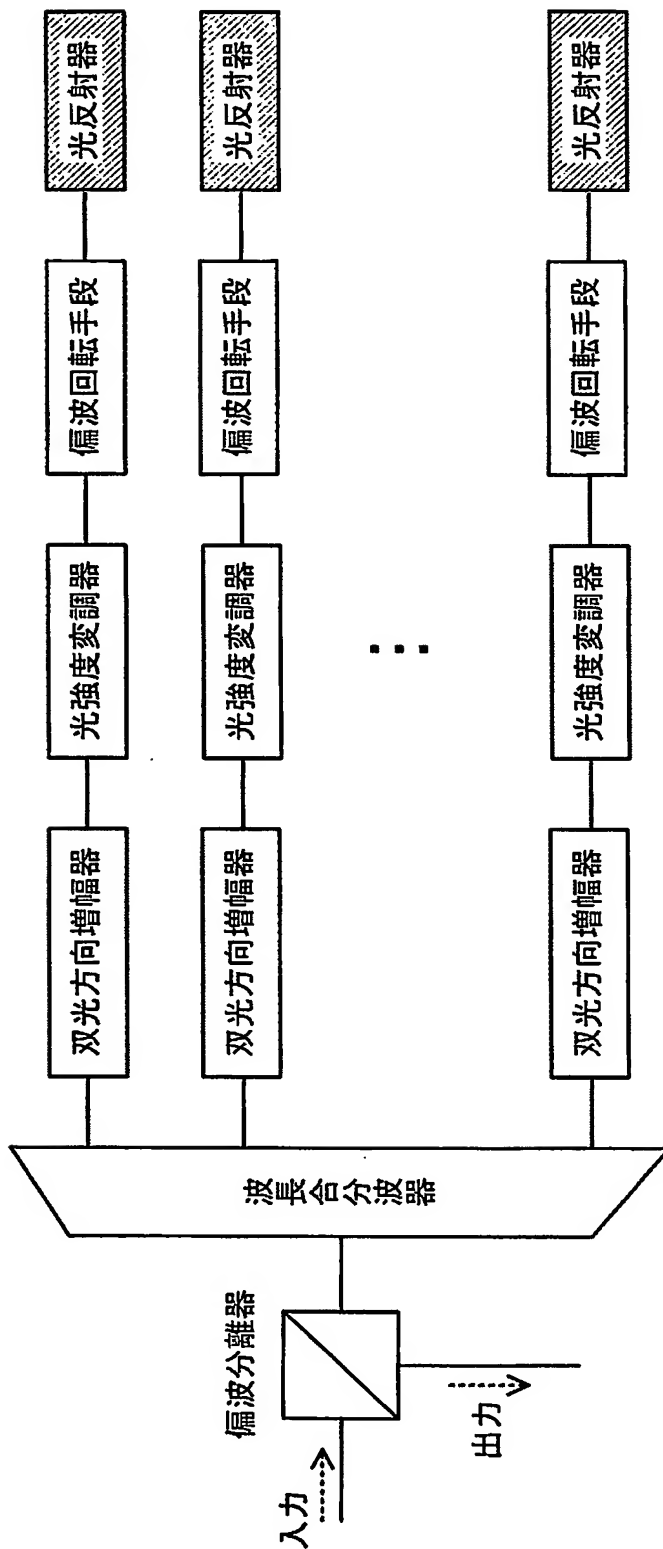
【図 6】



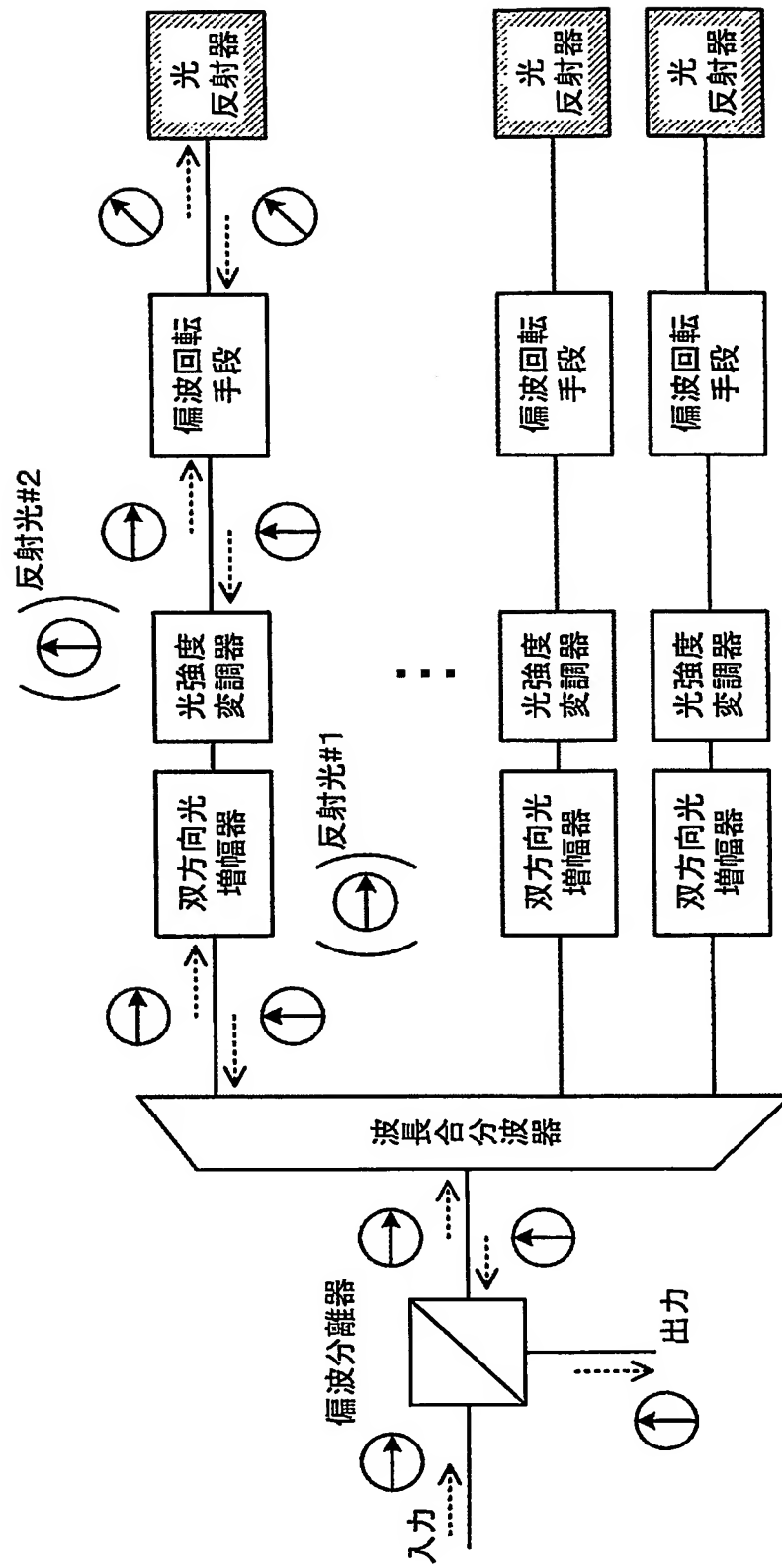
【図 7】



【図 8】



【図9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光変調器において偏波保持型の光デバイスおよび光ファイバを使用することなく、双方向光増幅器利得の値を最適化する。

【解決手段】 変調部は、第二の入出力ポートから入力された連続光に対してマーク率がほぼ $1/2$ の送信信号で強度変調を施し、この強度変調を施した変調光を第二の入出力ポートに出力する。この第二の入出力ポートを介して双方向光増幅器にこの変調光が入力され、双方向光増幅器は、この入力された変調光の光パワーを増幅し、この光パワーを増幅された変調光を第一の入出力ポートに出力する。このときに、変調部損失 L (dB) の値を、 0 (dB) ないし $2G + 3.0$ (dB) となるように設定する。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000004226]

1. 変更年月日

1999年 7月15日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

氏 名

日本電信電話株式会社